Rev. Écol. Biol. Sol, 1975, **12** (1): 405-414.

Les podzols forestiers et les podzols de dégradation : Relation entre l'histoire de la végétation et l'évolution des podzols sur Grès Vosgien triasique

PAR

B. GUILLET

Centre de Pédologie, C.N.R.S., Nancy-Vandœuvre

La podzolisation dans les Vosges est un processus pédogénétique stationnel lié à l'existence de roches-mères acides, filtrantes, pauvres en bases et en argile. Dans les Vosges Centrales gréseuses, les sols de la série podzolique (sols bruns ocreux, sols ocres podzoliques, sols podzoliques et podzols) ne se rencontrent que sur les sables d'altération du Grès Vosgien et du Conglomérat Principal triasiques. Ils représentent un climax stationnel largement plus répandu que le climax climatique représenté par les sols bruns acides de la sapinière à hêtre développés sur les grès plus argileux du Permien et des grès bigarrés triasiques (DUCHAUFOUR, 1966).

Nous avons cherché à établir les relations de causalité pouvant lier le degré d'évolution de quelques podzols caractéristiques aux types successifs de végétation sous lesquels se sont développés ces sols. Afin de connaître le rôle de la végétation en tant que facteur écologique responsable de la différenciation des profils nous avons utilisé deux méthodes considérées comme des méthodes de reconstitution de l'histoire de la végétation (palynologie des sols) et de datation (palynologie et mesures d'âge par le ^{14}C naturel).

I. LES MÉTHODES

1. La palynologie des sols.

La palynologie des sols repose sur le principe essentiel d'une migration plus ou moins lente des pollens dans les profils sableux. Elle s'oppose à la palynologie des tourbes où la sédimentation simultanée pollens-tourbe permet la reconstitution des phases successives de la végétation forestière régionale.

DIMBLEBY (1952) et MUNAUT (1967) ont montré que la migration des pollens dans les sols s'effectue en respectant les phases de la végétation locale au moins dans les sols les plus acides et en particulier dans les podzols. Les pollens des phases les plus anciennes se situent dans les horizons profonds, les pollens de la végétation actuelle à la partie supérieure des humus. C'est dans les sols les plus acides et surtout dans les podzols que la migration des pollens est la plus lente de sorte que dans de tels sols, l'histoire pollinique peut y être très longue (3 000 à 4 000 ans au maximum). Mais toutefois ce n'est que la partie terminale de l'histoire post-wurmienne locale qui demeure palynologiquement enregistrée.

Il est nécessaire pour connaître la durée exacte de cette histoire, de dater le plus précisément possible les spectres polliniques des sols. Pour la tranche d'histoire la plus récente couvrant les 4 à 5 derniers millénaires (Subboréal, Subatlantique), il serait illusoire de se baser sur les variations des essences forestières dominantes : dans les Vosges le sapin et le hêtre sont omniprésents. On fait alors appel à ce que l'on nomme les pollens-repères. Ce sont des pollens d'espèces qui disparaissent totalement (tilleul : peu après le début de notre ère) ou mieux encore, qui apparaissent. Ainsi, des pollens de charme (apparu il y a 2 800 ans environ), de céréales (liées au développement de l'agriculture : deuxième moitié du premier millénaire de notre ère), des essences cultivées au Moyen Age (noyer, châtaignier) ou introduites massivement (épicéa, XIXe siècle), présents en très faibles pourcentages, constituent néanmoins de fort précieux repères permettant une datation correcte des phases essentielles de la végétation liée au développement des podzols.

2. **Les datations par le ^{14}C naturel.**

Rappelons que cette méthode de datation permet de déterminer un « âge » par dosage du ^{14}C résiduel de toute substance carbonée d'âge inférieur à 40 000 ans. Ces âges sont des valeurs absolues lorsqu'ils se rapportent à des tourbes : ils définissent un repère chronologique. Mais dans le cas de matière organique des sols, les mesures n'expriment plus un âge vrai mais un « âge apparent ». En effet, la matière organique du sol ne constitue pas un milieu inerte, comme peut l'être celle des tourbes. Chaque molécule, chaque fraction organique est susceptible d'évoluer dans le temps. Certaines sont détruites par minéralisation, simultanément d'autres se forment par humification des apports nouveaux migrant des litières. Ces mesures de datation ne peuvent fournir que des « âges apparents » puisque l'on détecte, en fait, la radioactivité de multiples sources carbonées chronologiquement étalées. D'où la difficulté d'interprétation de la plupart de ces mesures appliquées à la matière organique des sols.

Les échantillons d'horizons Bh ont été traités et analysés selon la technique de SCHARPENSEEL et PIETIG (1968), adaptée à nos besoins (GUILLET, 1972).

II. LES PODZOLS SUR GRÈS VOSGIEN

Les peuplements résineux établis sur les versants de grès vosgien des Basses Vosges centrales (région de Saint-Dié) ne présentent pas une composition homogène. Des conditions stationnelles, liées apparemment à l'exposition, modifient le microclimat en agissant sur les réserves hydriques et contribuent à la formation de deux types de peuplements :

1. Une sapinière à *Vaccinium myrtillus* et mousses (*Mastygobryum et Sphagnum* sur les faciès hygrophiles ; *Hypnum loreum* sur les faciès mésophiles) sur les versants frais généralement exposés au Nord.

2. Une pineraie xérophile à *Vaccinium myrtillus* et *Calluna vulgaris* associée parfois à une sapinière à pin sylvestre et mousses xérophiles (*Dicranum, Leucobryum*) sur les versants secs aux expositions Sud et sur les crêtes de conglomérat principal.

Dès 1958, DUCHAUFOUR et *al.* ont montré que cette distribution des peuplements s'accompagne sur le plan pédologique d'une évolution morphologique différente des sols podzolisés. Aux podzols humo-ferrugineux à mor épais sous les peuplements xérophiles des versants Sud, s'oppose une association en mosaïque de sols ocres podzoliques, sols podzoliques et podzols ferrugineux à mor ou moder sous la sapinière hygrophile des versants frais.

Si l'on s'en tient uniquement à la comparaison des podzols les mieux exprimés, les différences morphologiques et chimiques entre podzols humo-ferrugineux sous pineraie et podzols ferrugineux sous la sapinière peuvent sembler ténues. En fait le contraste morphologique et chimique essentiel entre les deux types de podzol se situe principalement au niveau des horizons A_2 et Bh. Les podzols humo-ferrugineux, sols les plus évolués, ont des horizons Bh noirs, épais de 3 à 5 cm, très humifères et où s'accumule le fer libre, et des horizons A_2 généralement décolorés. Chez les podzols ferrugineux, l'horizon Bh se présente sous la forme d'un fin liseré de couleur marron peu humifère, l'horizon A_2 est souvent incomplètement lessivé en fer.

Cette différence de degré d'évolution des podzols nous conduit à formuler une double hypothèse concernant l'éventuel lien entre le développement des profils et l'histoire de la végétation.

Devons-nous considérer les podzols humo-ferrugineux des pineraies comme des podzols primaires ou des podzols secondaires ? Ils seraient primaires s'ils résultaient d'une longue évolution sous des peuplements acidiphiles et podzolisants de pins présents depuis le début du Postglaciaire (Préboréal). Ils seraient secondaires s'ils résultaient, en réalité, d'une action anthropique relativement récente tendant à dégrader la sapinière à hêtre climacique, à lui substituer des landes à callune dont on sait le rôle accélérateur des processus de podzolisation.

Dans cette seconde hypothèse, les pineraies seraient d'introduction très récente et ne pourraient être tenues pour responsables de l'accentuation des processus de podzolisation aboutissant aux podzols humo-ferrugineux. En somme l'alternative revient à poser le problème de l'âge des podzols de la sapinière et de la pineraie en fonction du mode d'évolution de la couverture végétale sous laquelle ils se sont développés. Les analyses polliniques de ces podzols permettent la reconstitution de cette histoire phytoécologique.

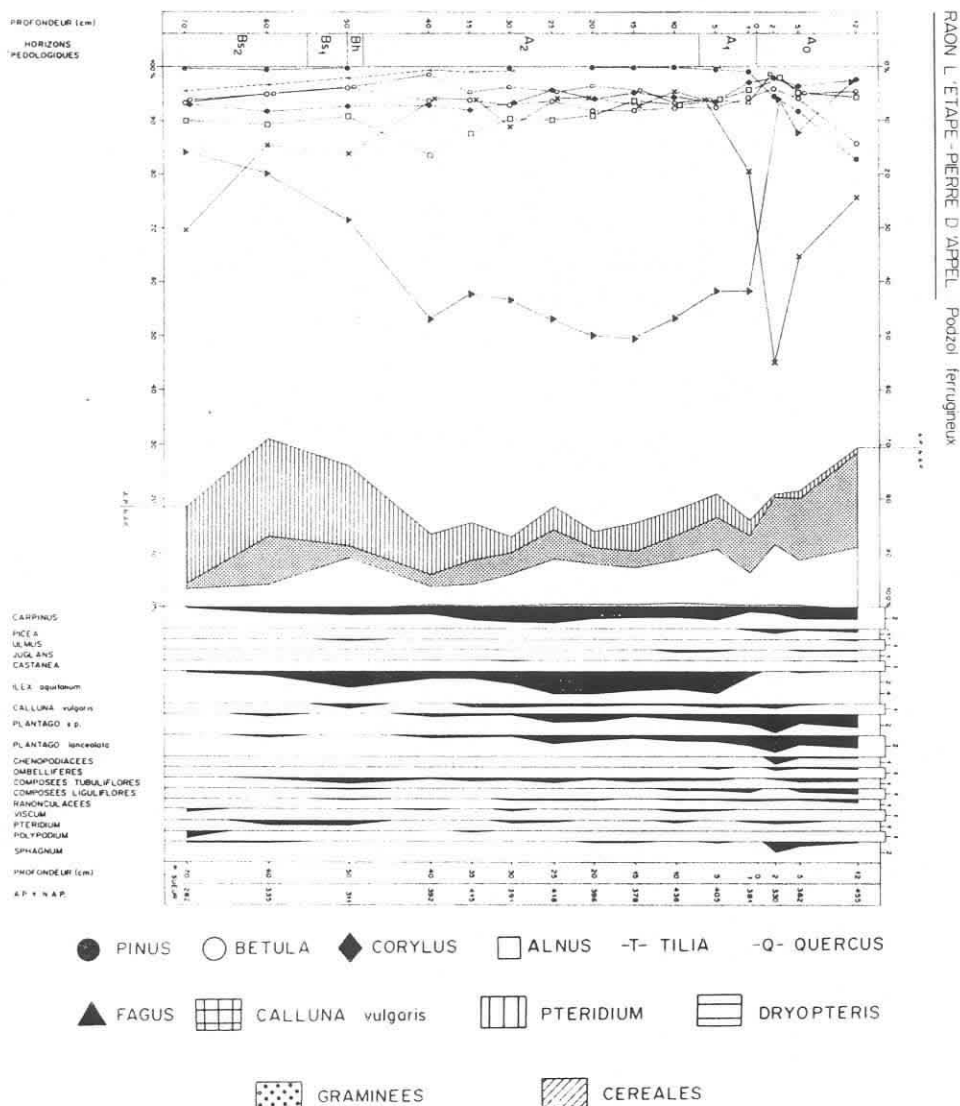
III. RECONSTITUTION DE L'HISTOIRE DE LA VÉGÉTATION

1. Les podzols ferrugineux.

Quatre analyses polliniques faites sur les podzols ferrugineux situés actuellement sous la sapinière hygrophile révèlent la permanence d'une végétation forestière climacique. Le diagramme-type de la station de Raon l'Étape-Pierre d'Appel (Diagramme 1) montre une étonnante alternance de sapin et de hêtre : l'histoire pollinique de 2 000 ans environ retrace le passage d'une sapinière à hêtre subatlantique à une hêtraie presque pure (il existe dans certaines stations un notable pourcentage de bouleau). Récemment le sapin a été favorisé au dépens du hêtre.

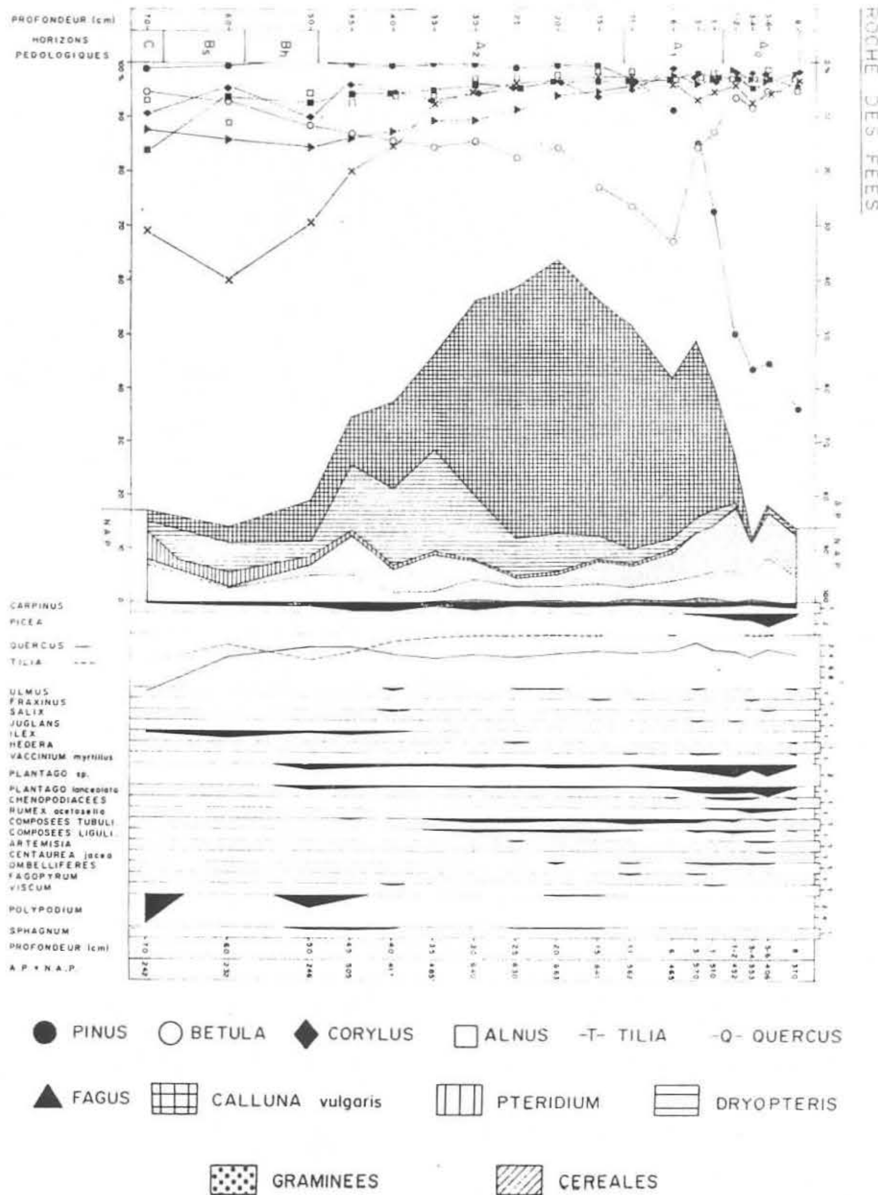
Ces podzols ferrugineux se sont donc entièrement développés sous une couverture forestière relativement dense : ils apparaissent pour reprendre un terme

d'EDELMAN (1960) comme des podzols forestiers que nous qualifierons de *podzols climax* pour insister sur l'état d'équilibre existant entre ces podzols et la végétation climacique.



Si les analyses polliniques nous renseignent utilement sur l'histoire de la végétation, elles ne permettent toutefois pas d'obtenir des preuves absolues concernant l'origine de la podzolisation. Il est presque certain cependant que, sous la hêtraie dominante subatlantique les sols étudiés étaient déjà des podzols. Mais doit-on attribuer uniquement à cette phase forestière, l'origine de la podzolisation ? Nous ne le pensons pas. Il paraît en effet très vraisemblable que dès le

début du Subboréal, la convergence de facteurs tels que la pauvreté en bases et en argile des roches-mères, la détérioration climatique (succédant à l'optimum climatique de la période atlantique), l'acidité relative de la litière de sapin (le sapin remplace les feuillus de la Chênaie Mixte), favorise l'extension spatiale des sols à podzolisation accentuée (sols podzoliques et podzols). Dans ces conditions, la durée de la podzolisation climacique serait d'au moins 4 500 à 5 000 ans.



2. Les podzols humo-ferrugineux.

Cinq analyses polliniques faites dans des stations de podzols humo-ferrugineux des pineraies des versants Sud divergent très fortement de celles des podzols ferrugineux. Ces analyses ayant été par ailleurs publiées (GUILLET, 1971), nous prendrons comme exemple la station d'Ormont-Roche des Fées (Diagramme 2).

Le trait caractéristique de l'histoire de ces podzols est l'existence d'une lande de substitution, à callune, résultant de la dégradation totale de la sapinière à hêtre subboréale-subatlantique. Les peuplements de pins ne sont donc pas des reliques de la pineraie préboréale, mais ils ont été pour la plupart constitués au siècle dernier par les forestiers qui implantèrent massivement le pin sylvestre de race indigène sur toute l'étendue des landes.

On ne doit donc pas retenir l'hypothèse selon laquelle la pineraie serait à l'origine du développement des podzols humo-ferrugineux. En fait l'histoire de ces podzols et leur évolution sont directement liées à l'existence de ces landes à callune : ce sont typiquement des podzols secondaires, dits *podzols de dégradation*. Ce sont ces landes à callune par l'intermédiaire de leur humus brut qui sont responsables, non de la podzolisation initiale des sols qui fut forestière, mais de l'accélération brutale des processus de podzolisation. Les composés organiques issus des litières provoquent d'une part la complexation et l'entraînement du fer hors des horizons A_2 (BRUCKERT, 1970) et d'autre part l'accumulation en Bh d'une matière organique abondante. Ainsi se développent à partir de podzols forestiers, des podzols humo-ferrugineux de dégradation, principalement caractérisés par de fortes teneurs en matière organique noire dans les horizons Bh.

Puisqu'elle est liée à l'âge des landes à callune, responsables de l'évolution vers les podzols humo-ferrugineux, la durée de la podzolisation de dégradation est palynologiquement datable. Il suffit de connaître l'âge de ces landes. Dans les Vosges gréseuses, ces landes, d'origne anthropique, sont toutes apparue au cours de la période subatlantique, il y a 2 000-2 300 ans au plus tôt, 5 à 6 siècles au plus tard. Elles sont donc plus récentes que la plupart des landes anthropiques atlantiques, datées de l'âge du Bronze (3 000 ans environ) en Angleterre (DIMBLEBY, 1962).

Bien qu'ils soient plus récents que les podzols forestiers, les podzols de dégradation présentent une morphologie plus évoluée. On peut alors se demander par quel mécanisme biochimique les composés organiques solubles migrant des litières de callune parviennent à déterminer une différenciation aussi prononcée des horizons des podzols humo-ferrugineux en particulier des Bh. Les datations par le ^{14}C naturel de la matière organique de ces horizons vont permettre de répondre à cette question.

IV. LES AGES APPARENTS DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DES HORIZONS Bh

Les durées de podzolisation ayant été préalablement précisées, il devient possible de confronter ces temps de podzolisation avec les résultats des datations par le ^{14}C de la matière organique des Bh des podzols.

Les résultats exprimés dans le Tableau I soulignent deux faits :

1. La grande dispersion des mesures concernant les horizons Bh des podzols humo-ferrugineux de dégradation et la nette corrélation avec la durée des landes à callune (Fig. 1).

2. Le très fort décalage existant entre l'âge « réel » des podzols forestiers climaciques et les mesures obtenues sur les Bh.

Il y a là un paradoxe apparent : les podzols les plus vieux, forestiers, peuvent présenter des « âges » très récents, tandis que les podzols de dégradation plus récents peuvent donner des âges apparents très vieux. Nous allons tenter d'en expliquer les raisons.

TABLEAU I

Résultats des mesures de datation par le ^{14}C naturel de la matière organique des horizons Bh des podzols humo-ferrugineux de dégradation et des podzols ferrugineux forestiers

Stations	Type de podzolisation	Durée du type de podzolisation	Âges apparents (ans B.P.)
Biffontaine	Podzolisation de dégradation	2 000-2 300 ans	1 300 ±60
Taintrux		2 500-2 300 ans	1 270 ±50
Ormont-Roche des Fées		1 000-1 500 ans	720 ±70
Belmont II		800-1 000 ans	600 ±50
Belmont I		500-600 ans	430 ±50
Raon-Pierre d'Appel	Podzolisation forestière climacique	4 500 ans environ	600 ±50
Raon-Vénival			440 ±50
Corcieux-Croisette			510 ±50
Corcieux-Vanemont			350 ±50

V. DISCUSSION ET CONCLUSION

Les « âges apparents » des horizons Bh représentent d'une part des âges intermédiaires compris entre le début de la différenciation de ces horizons et aujourd'hui, et d'autre part, le « temps moyen de résidence » de la matière organique dans cet horizon que l'on sait être formée par insolubilisation des polymères organiques issus des litières. Si le renouvellement, ou turn-over, de la matière organique s'effectue rapidement, les « âges apparents » reflètent l'activité de l'horizon du sol, mais ne fournissent aucune indication sur son âge réel. Par contre si la matière organique insolubilisée en Bh se minéralise peu, son renouvellement est alors très lent, sinon nul, les « âges apparents » peuvent exprimer un âge moyen strict dans la mesure où les apports organiques annuels sont relativement constants.

Ces deux interprétations se retrouvent dans les podzols vosgiens. Les résultats obtenus pour les deux types de podzols, de dégradation ou forestiers climaciques, illustrent l'influence du type de végétation sur le turn-over de la matière organique des horizons Bh.

Pour les podzols de dégradation, la corrélation (Fig. 1) entre l'âge apparent de l'horizon Bh et la durée d'existence des landes à callune tend à prouver que les polymères organiques insolubilisés en Bh demeurent globalement très stables : les « âges apparents » correspondent à des « âges moyens »

quasi-exacts, sensiblement égaux à la moitié de la durée de la podzolisation de dégradation. Tout semble se passer comme si la matière organique s'accumulait, sans se renouveler, à un rythme à peu près constant pendant toute la durée de la podzolisation de dégradation. Certes une très faible part de ces composés organiques doit vraisemblablement se renouveler mais l'incidence de ce turn-over sur l'âge apparent demeure sans effet face à l'accumulation d'une matière organique peu labile.

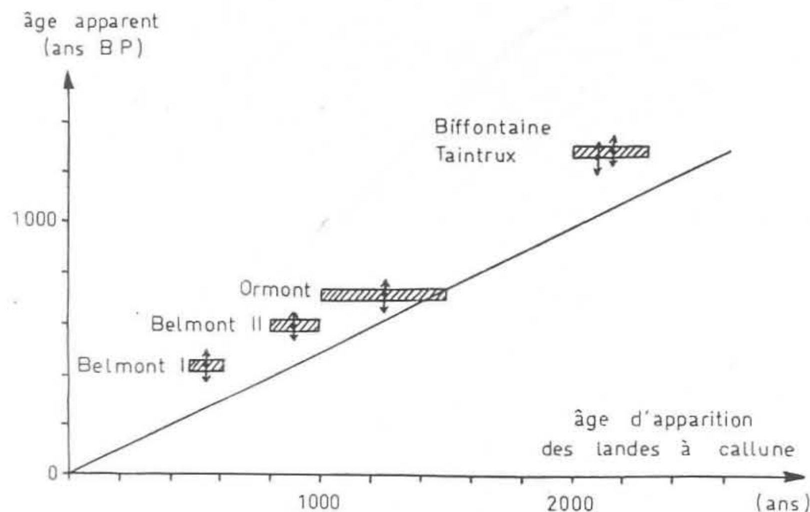


FIG. 1. — Corrélation entre l'âge d'apparition des landes à callune et les « âges apparents » des horizons Bh des podzols humo-ferrugineux.

Pour les podzols forestiers les résultats obtenus sont bien inférieurs à la moitié de la durée de la podzolisation forestière climacique. La matière organique, apparemment plus labile que celle issue des litières de callune est donc soumise à un certain turn-over. Ce renouvellement semble s'effectuer selon un taux annuel moyen de 0,2 pour cent par an puisqu'en 500 ans (moyenne des âges apparents des 4 Bh étudiés) la matière organique se renouvelle totalement. On a pu montrer lors d'une étude plus vaste (GUILLET, 1972) que les conditions climatiques générales tendent à régler le taux du turn-over. Ainsi en forêt de Fontainebleau l'âge apparent de 200 ans d'un horizon Bh développé il est vrai sous feuillus, exprime un taux de renouvellement de 0,5 pour cent par an tandis que dans les Hautes Vosges, ce taux s'établit autour de 0,1 pour cent l'an (âge apparent moyen 1 000 ans).

En conclusion, il résulte de cette confrontation entre les deux méthodes que le type de végétation sous laquelle se développent les podzols, conditionne l'évolution biochimique de la matière organique des horizons Bh et détermine sa stabilité globale.

Dans les podzols de dégradation, les polymères de callune, insolubilisés en Bh, paraissent très peu biodégradables, ils se minéralisent peu : c'est la raison essentielle de l'accumulation de matière organique dans ces hori-

zons. Par contre les polymères issus des litières forestières, insolubilisés dans les Bh des podzols forestiers, sont plus labiles, ils peuvent se minéraliser et se renouveler ; la matière organique est globalement moins stable ; ceci rend compte des faibles teneurs en carbone observées dans ces horizons. C'est la « labilité » de la matière organique des horizons qui règle la valeur des âges apparents et explique pourquoi les podzols les plus récents (de dégradation) peuvent présenter des âges apparents d'horizons Bh plus élevés.

Cette différence de comportement biochimique a certainement pour origine une différence de structure des polyphénols-protéines composant les polymères insolubilisés en Bh : polyphénols-protéines « hydrolysables » dans les Bh forestiers, « condensés » dans le cas de la callune. Les premiers sont labiles, les seconds peu biodégradables comme le montrait HANDLEY dès 1961.

RÉSUMÉ

Par la méthode des analyses polliniques des sols on a pu constater que les podzols humo-ferrugineux vosgiens se sont développés sous l'influence de landes à callune alors que les sols podzoliques et les podzols ferrugineux sont en équilibre avec la végétation forestière climacique. Bien que les premiers soient plus récents que les seconds, les mesures de datation par le ^{14}C naturel de la matière organique des horizons Bh donnent des « âges apparents » qui peuvent être plus élevés. La raison en est que les podzols forestiers ont une matière organique plus labile qui se renouvelle constamment : les « âges apparents » représentent alors le temps moyen du turn-over de la matière organique. Au contraire, dans les horizons Bh des podzols de dégradation, formés sous landes à callune, la matière organique est beaucoup plus stable, moins biodégradable : elle s'accumule sans se renouveler.

SUMMARY

By pollen analysis of vosgian podsols, it has been shown that iron-humus podsols have been developed under heather landscape while iron podsols are in steady-state equilibrium with the climax forest. While the iron-humus podsols are younger than iron podsols, the natural ^{14}C measurements give higher « apparent âges » in Bh horizons. The reason is that the organic matter of iron podsol Bh has a rapid breakdown and therefore « apparent âges » may be looked on as the mean turnover time of the organic matter. By contrast, the organic matter of iron-humus podsol produced by heather litter is more stable, less labile. This organic matter has been accumulated in the Bh horizon without important turnover.

BIBLIOGRAPHIE

BRUCKERT (S.), 1970. — Influence des composés organiques solubles sur la pédogénèse en milieu acide. Thèse Doct. Etat, Nancy, 72 p.

DIMBLEBY (G. W.), 1952. — The historical status of moorland in North-East Yorkshire *The New Phytologist*, **51** (3): 349-354.

DUCHAUFOUR (Ph.), PARDE (J.), JACAMON (M.), DEBAZAC (E.), 1958. — Un exemple d'utilisation pratique de la cartographie des stations : la forêt du Ban d'Etival (Vosges). *Rev. Forest. Fr.*, **10**: 597-630.

DUCHAUFOUR (Ph.), 1966. — Le problème du climax et l'évolution des sols. *Oecol. Planta.*, **1** (2): 165-174.

EDELMAN (C. M.), 1960. — Podzols forestiers et podzols de bruyère. *Pédologie, Gand*, **15**: 229-249.

GUILLET (B.), 1971. — Étude palynologique des podzols. II. La podzolisation sur les versants secs gréseux des Basses Vosges. *Pollens et spores*, **13** (2): 233-254.

GUILLET (B.), 1972. — Datation des sols par le ^{14}C naturel. I. La méthode de datation en scintillation liquide. *Bull. E.N.S.A.I.A., Nancy*, **14** (1): 117-122.

GUILLET (B.), 1972. — Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges. Thèse Doc. Etat, Nancy, 112 p.

HANDLEY (W. R. C.), 1961. — Further evidence for the importance of residual leaf-protein complex in litter decomposition and the supply of nitrogen for plant growth. *Plant & soil*, **15** (1): 37-73.

MUNAUT (A. V.), 1967. — Recherches paléo-écologiques en Basse et Moyenne Belgique. *Acta Géog. Lovaniensia*, Thèse, **6**: 191 p.

SCHARPENSEEL (H. W.), PIETIG (F.), 1968. — Einfache Boden- und Wasserdatierung durch Messung der ^{14}C- oder Tritium Konzentration. *Geoderma*, **2**: 273-289.